VISIT…

LANZAROTE
Caliente.COM

Лозин А.А., Арсенюк В.М., Петривский Я.Б.
Научно–производственная фирма “Продэкология”, Украина.

УДК 622.7; 621.318.2

Использование информационно-аналитических технологий при расчете и моделировании стационарных магнитных систем в конструировании сепараторов на постоянных магнитах

Использование современных программных продуктов численной математики позволяет проводить всесторонний, глубокий анализ для проектирования и производства продуктивных средств магнитной сепарации. Приведены результаты расчета и внедрения в производство барабанного сепаратора на постоянных магнитах.

Use of modern program products of numerical mathematics allows carrying out comprehensive, deep analysis for productive facility of magnetic separation designing and production. There are results of drum separator with permanent magnets calculation and inculcation in production.

В современных условиях жесткой конкуренции производство высококачественной продукции при минимальных материальных затратах становится основной задачей любого предприятия.

Одним из направлений технического прогресса в технологии обогащения железных и других руд, снижающих эксплуатационные затраты, является переоснащение технологического оборудования и, в частности, тенденция замены магнитных сепараторов с традиционным электромагнитным источником магнитного поля магнитными системами, выполненными на базе постоянных магнитов высоких энергий (типа Sm-Co, и, особенно, Nd-Fe-B). Такая тенденция обусловлена в первую очередь огромными достижениями последних лет в разработке и освоении массового производства постоянных магнитов с энергетическим произведением W до 400 кДж/м^3.

Использование в магнитных сепараторах постоянных магнитов высоких энергий позволяет отказываться от традиционных конструкций магнитных систем с электромагнитным возбуждением и заменой их магнитными системами нового поколения, не уступающих принципиально по максимальной интенсивности магнитного поля в рабочем объеме сепаратора. Очевидные преимущества магнитных сепараторов на постоянных магнитах: отсутствие источников электроснабжения, кабельных линий, аппаратуры коммутации и защиты, средств электробезопасности, дополняются другими преимуществами, обусловленными специфическими свойствами самих постоянных магнитов. Прежде всего, это относится к возможности практически неограниченного «дробления» магнитных систем на отдельные модули, широкие пределы в формировании топологии магнитного поля как за счет разнообразия в направлении их намагниченности, формы, конструктивной компоновки в самом магнитном сепараторе.

Отказ от электромагнитных систем в магнитных сепараторах ставит и новые задачи при разработке магнитных сепараторов на постоянных магнитах, так как весь огромный накопленный опыт в расчете, конструировании, экспериментальном исследовании, эксплуатации магнитных сепараторов с электромагнитным возбуждением не может быть автоматически перенесен на магнитные сепараторы с возбуждением от постоянных магнитов, которые должны рассматриваться как источники ограниченной мощности. Поэтому весьма актуальными являются задачи расчета магнитного поля постоянных магнитов, магнитных сил, оптимизации магнитных систем по технико-экономическим соображениям,

проектирования и создания эффективных средств магнитной сепарации, построения репрезентативных информационно-моделирующих систем, адекватно отображающих суть процесса магнитной сепарации.

Постановка вопроса о математическом моделировании какого–либо объекта порождает четкий план действий, который условно можно разбить на три этапа: модель – алгоритм – программа.

Первый этап предусматривает выбор математического “эквивалента” объекта, отражающего важнейшие свойства явления на основе фундаментальных законов, связей, присущим составляющим его компонентам, и т. д.

Второй этап – выбор (или разработка) алгоритма для компьютерной реализации модели с помощью численных методов и определения последовательности вычислительных и логических операций, обеспечивающих нахождение искомых величин с заданной степенью точности. При этом вычислительные алгоритмы не должны искажать основные свойства модели, следовательно, исходного объекта, быть экономичными и адаптирующимися к особенностям решаемых задач и используемых компьютеров.

На третьем этапе создаются программы, реализующие модель и алгоритм на доступный компьютеру язык и отвечающие требованиям экономичности и адаптивности [1].

В общем случае математическая модель нелинейных стационарных магнитных систем изображается сложной краевой задачей для систем уравнений с частными производными эллиптического типа. В каждой области пространства справедливы следующие уравнения:

$$div(\mu grad\varphi) = 0 \qquad (1)$$

- в объеме магнитопровода,

$$\Delta A = -\delta \qquad (2)$$

- в объеме носителей магнитных зарядов,

$$\Delta A = 0, (\Delta\varphi = 0) \qquad (3)$$

- в остальном пространстве,

на поверхности раздела сред выполняются краевые условия согласования

$$H_t^+(S) = H_t^-(S); B_n^+(S) = B_n^-(S), \qquad (4)$$

где $\mu = \mu(H)$ - магнитная проницаемость стали; φ - скалярный магнитный потенциал; А – векторный магнитный потенциал; δ - плотность тока, знаками “+”, ” - ” обозначены величины напряженности (H) и индукции (B) по разные стороны поверхности S раздела сред. Заметим, что рассматриваемая задача является внешней краевой задачей первого рода с однородными краевыми условиями на бесконечности для магнитного потенциала [2].

Нахождение аналитического выражения ее решения является довольно громоздкой и часто невозможной процедурой из-за сложности и разнообразия форм магнитных систем, которые требуется рассчитывать, а особенно вследствие нелинейности модели, где краевые эффекты и эффекты насыщения играют первоочередную роль. Решение задач данного класса обычно проводят с помощью численных методов, основывающихся на применении разностных схем. На данном этапе моделирования важнейшим вопросом является выбор программного обеспечения, которое при максимуме допустимых пренебрежений второстепенными факторами давало бы наилучшую точность результатов. Реализацию разностных схем задачи удобно производить с помощью современных программных продуктов основывающихся на прогрессивных численных методах. Современный рынок программного обеспечения численного решения задач прикладного характера в разнообразных сферах научных исследований насыщен множеством систем компьютерной математики.

Некоторыми из удобных в обращении, по мнению специалистов НПФ “Продэкология”, являются интегрированная система MATLAB, а именно один из ее важнейших пакетов прикладных программ, содержащих множество функций для решения

систем дифференциальных уравнений в частных производных - Partial Differential Equations Toolbox, и пакет конечно-элементных методов математического моделирования дифференциальных уравнений в частных производных – FEMLAB. Надо отметить, что FEMLAB – это инструментарий MATLAB. В среде FEMLAB доступны все средства MATLAB и, наоборот, в среде MATLAB доступны все средства FEMLAB. При решении задач магнитостатики визуализация решения позволяет выводить на экран картины стандартных характеристик магнитного поля (потенциал, индукция, напряженность, энергия и т.д.). Кроме того, и это важно отметить, возможность проводить постпроцессорную обработку результатов на основании встроенных функций и языка программирования MATLAB делает доступным осуществлять дальнейшую обработку полученных результатов в зависимости от характера, вида, целей сепарации.

Например, специалистами НПФ "Продэкология" в данном направлении, кроме изображения силового поля (HgradH) магнитной системы для анализа возможных продуктивных решений, с успехом применяется и такой показатель, как линии равной силы поля, зафиксированные на проекции модели.

Решалась задача про выбор оптимальных параметров барабанного сепаратора на постоянных магнитах для обогащения ферросплавов в производстве Аксуского завода ферросплавов (ОАО ТНК «Казхром»). Под оптимальными параметрами магнитной системы подразумевается рациональный подбор магнитной массы (используются высококоэрцитивные магниты, Br=1.25 Тл) и выбор соответствующей геометрии с целью решения поставленных технологических задач в условиях производства. Одними из ключевых параметров при синтезе магнитной системы было обеспечение достаточного уровня силы(HgradH) на контрольных высотах прохождения продукта сепарации и создание необходимого рельефа эквисиловых уровней, гарантирующих продуктивность сепарации. Математическая модель проблемы, задача вида (1) - (4), решалась с использованием пакета конечно-элементных методов математического моделирования дифференциальных уравнений в частных производных – FEMLAB. При этом рассматривалась плоско-параллельная аналогия, что с учетом длины сепаратора достаточно хорошо отображает реальную пространственную ситуацию. Про адекватность полученных результатов свидетельствует сравнение на разных уровнях теоретических и эмпирических значений индукций (измерения производились цифровым тесламетром универсальным 43205/1). На рис.1 изображены теоретическая кривая значения магнитной индукции (Тл) на поверхности барабана, и эмпирическая кривая, построенная по данным измерений, снятых с изготовленного НПФ «Продэкология» для Аксуского завода ферросплавов барабанного сепаратора СМБ1-63/100-Н.

На рис.2 изображены теоретическая (серый цвет) и эмпирическая кривые (черный цвет) значений индукции (Тл) на высоте 10мм от поверхности барабана.

Проведенный анализ показал отклонение расчетных данных от данных измерений менее чем в 7%, что является более чем достаточным допустимым показателем при выборе теоретической модели. Анализ действия силового поля проводился на основании возможности постпроцессорной обработки расчетных результатов с помощью встроенных функций программного языка MATLAB.

Авторами были созданы в программной среде MATLAB алгоритмы визуализации картины силового поля магнитной системы, что позволило оптимизировать поставленную задачу про выбор геометрии модели при необходимой структуре и уровне значений магнитных силовых линий. На рис.3 изображены линии равной силы (эквисиловые уровни, в $А^2/м^3$) на геометрической проекции магнитной системы с маркировкой соответствующих значений силы.

По мнению авторов, данный подход к моделированию систем на постоянных магнитах является достаточно гибким и удобным инструментом при создании мощных и продуктивных сепарирующих систем, позволяющий моделированием получать необходимую для эффективной сепарации концентрацию силового поля.

Постпроцессорная обработка результатов расчета магнитного поля, в частности расчета пространственной картины действия магнитных сил поля $F_п$=HgradH, позволяет также более точно строить математическую модель движения магнитных и немагнитных фракций продукта в рабочей зоне сепаратора.

Созданы высокоэффективные промышленные барабаны СМБ-Н для обогащения окисленных кварцитов и шлаков феррохрома с максимальной индукцией 1,7 Тл на поверхности магнитной системы и 0,70 Тл на рабочей поверхности обечайки, с градиентом магнитного поля 42-48 Тл/м (0-20мм) имеют относительную магнитную силу HgradH в рабочей зоне сепаратора [1,7-19]x10^{12} $А^2/м^3$. Например, такая магнитная сила может выполнить “работу сепарации” для окисленных руд в пределах 15-25 Н/кг (при удельной магнитной восприимчивости гематита 29x10^{-8} $м^3$/кг) [3].

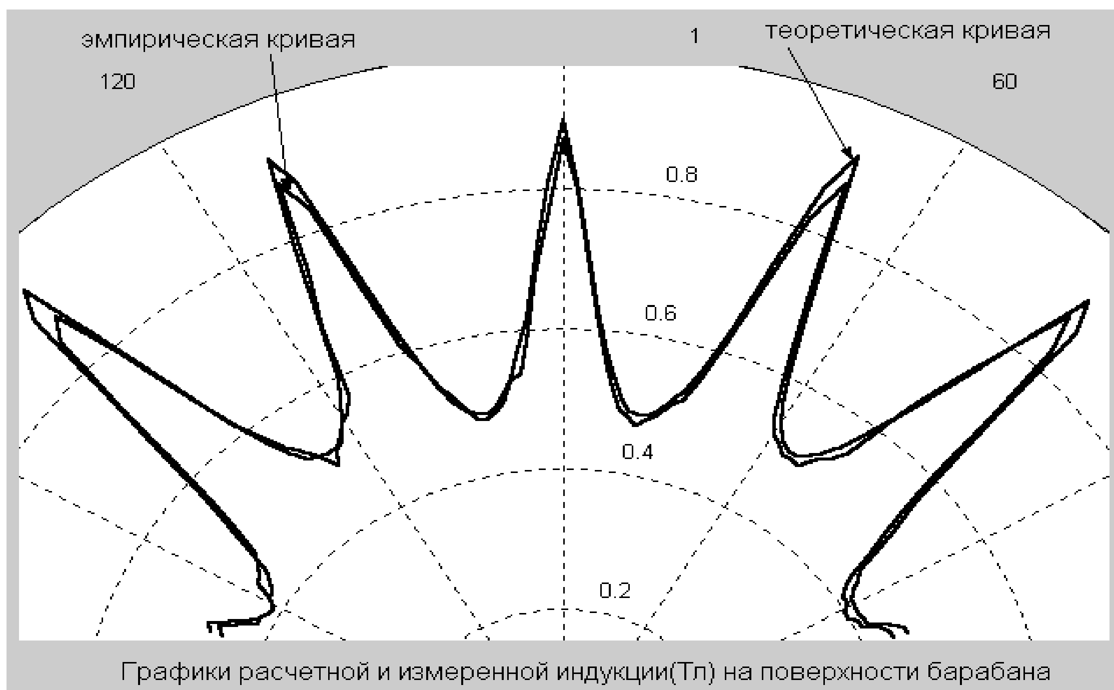


Рис.1

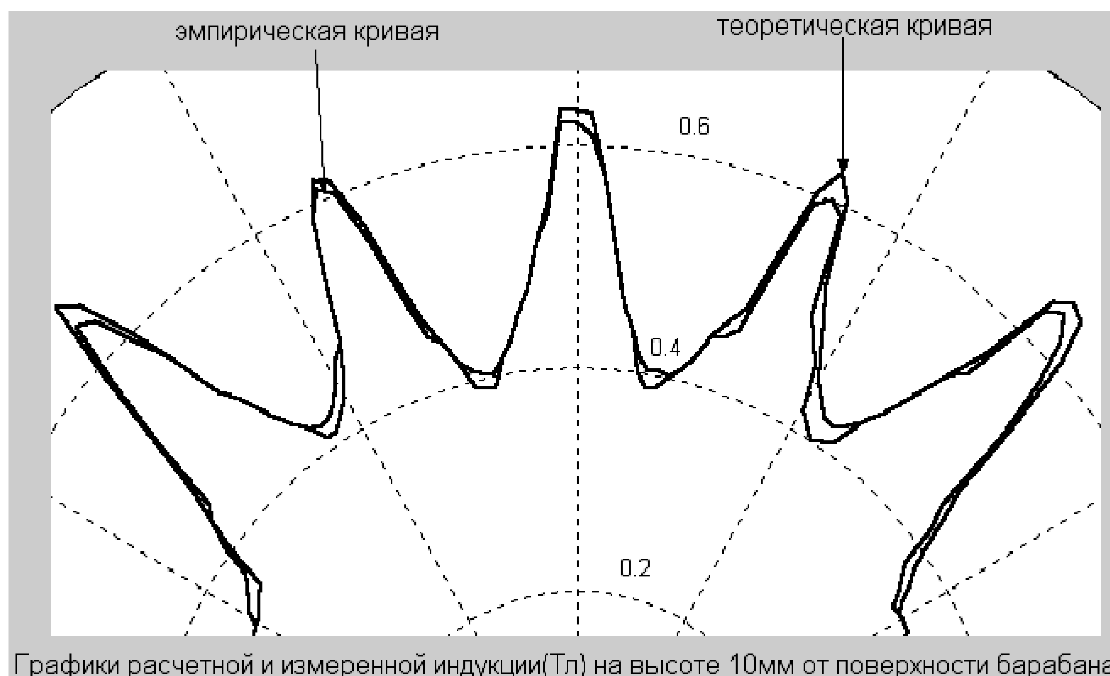


Рис.2

Рис.3

Имея много преимуществ, а именно: самые высокие силовые характеристики магнитного поля; простую и надежную конструкцию, что дает возможность работы в трудных условиях; низкую металлоемкость и энергозатратность; возможность работы с сырьем широкого диапазона крупности; возможность работы с материалами широкого диапазона магнитных свойств; пожаро- и взрывобезопасность, барабанные сепараторы находят широкое применение на горно-обогатительных предприятиях; предприятиях стекольной и керамической промышленности; комбинатах огнеупоров; предприятиях пищевой промышленности; предприятиях химической промышленности; заводах по переработке мусора и вторичного сырья (стеклобоя); металлических отходов и др.

За счет согласования топологии магнитного поля и технологических параметров работы удается эффективно использовать гравитационные и магнитные силы и, как следствие, получить высокие показатели эффективности сепарации как нерудных продуктов, так и рудных материалов.

Некоторые результаты проведенных исследований приведены в таблицах 1-3.

Таблица 1

Результаты обогащения гематит-мартитовых кварцитов

Продукт, класс крупности +0 – 10мм	Содержание $Fe_{общ}$ в питании, %	Магнитный продукт		Прирост $Fe_{общ}$, %
		Выход, %	Содержание $Fe_{общ}$, %	
Отвальные породы	49,3	74,9	53,9	4,6
		56,0	55,2	5,9
	44,7	19,0	57,9	13,2
Кусковая руда	45,8	65,6	53,2	7,4
		49,0	55,2	9,4
	38,9	55,8	57,2	18,3
6-й горизонт	40,3	45,4	52,3	12
Аглоруда	50,5	55,4	57,3	6,8

Таблица 2

Результаты и сравнительная характеристика обогащения ильменита

Продукт	Выход продукта, %	Содержание, %			Извлечение, %		Эффективность работы сепаратора, %
		ильменита	кварца	TiO_2 в ильмените	ильменита	TiO_2 в ильмените	
	СМБ 1-31,5/10-Н						
Питание	100	58,60		57,92	100	100	60,46
Концентрат	38,40	96,80	0,8	55,10	63,43	36,53	
Промпродукт	9,60	63,45		52,11	10,39	8,64	
Хвосты	52,00	29,50		61,08	26,18	54,84	
	Электромагнитный валковый сепаратор						
Питание	100	58,6		57,92	100	100	47,42
Концентрат	31,87	94,70	1,7	55,90	51,51	30,75	
Промпродукт	28,81	63,57		53,05	31,25	26,39	
Хвосты	39,32	25,70		63,13	17,24	42,86	

Таблица 3

Результаты сепарации доломита

№ пробы	Содержание Fe_2O_3, %	
	до сепарации	после сепарации
1	0,026	0,017
2	0,026	0,015
3	0,026	0,009
4	0,019	0,011
5	0,038	0,015

Благодаря научному подходу, используя наиболее современные методики компьютерного расчета магнитных систем, удается создавать такую топологию магнитного поля, которая дает возможность оптимально использовать массу магнитов и максимально концентрировать магнитную энергию в рабочей зоне сепаратора. Это выгодно отличает барабанные сепараторы НПФ ”Продэкология” от аналогичных изделий других фирм.

Список использованной литературы

[1] Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование – М.: Физматлит, 2001.
[2] Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики-М.: Наука, 1971.
[3] М.М.Бережний, В.П. Мовчан Збагачення та окускування сировини. – Кривий Ріг, 2000.